

# EUROPEAN PATENT OFFICE

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 10219393  
PUBLICATION DATE : 18-08-98

APPLICATION DATE : 04-02-97  
APPLICATION NUMBER : 09021151

APPLICANT : SUMITOMO METAL IND LTD;

INVENTOR : KURITA MASATO;

INT.CL. : C22C 38/00 C22C 38/60

TITLE : STEEL MATERIAL FOR SOFT-NITRIDING, SOFT-NITRIDED PARTS, AND THEIR PRODUCTION

ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To provide soft-nitrided parts excellent in tensile strength, fatigue strength, and bendability even if refining treatment, etc., are omitted, their production, and a steel material for soft-nitriding to be a base material.

SOLUTION: The steel material for soft-nitriding has a composition which consists of 0.20-<0.38% C, 0.05-1.0% Si, >1.0-1.5% Mn, ≤0.05% P, 0.005-0.10% S, ≤0.3% Cr, ≤0.08% Al, ≤0.03% Ti, 0.008-0.02% N, ≤0.005 Ca, ≤0.30% Pb, ≤0.3% Cu, ≤0.3% Ni, ≤0.3% Mo, ≤0.2% V, ≤0.05% Nb, and the balance Fe with inevitable impurities and in which the value of fn1, represented by  $fn1=221C(\%)+99.5Mn(\%)+52.5Cr(\%)-304Ti(\%)+577N(\%)+25$ , is regulated to  $\geq 180$  and also has a structure which is composed of ferrite.pearlite and in which fraction of ferrite is regulated to  $\geq 10\%$ . Further, it is more desirable that the value of fn2, represented by  $fn2=-192C(\%)-32.8Mn(\%)-25.1Cr(\%)+467Ti(\%)+726N(\%)+122$ , is regulated to  $\geq 15$ . The soft-nitrided parts are produced by using the steel material as a base material, and a nitrided layer is formed in the surface layer part of the parts. Soft-nitriding treatment can be performed while applying neither normalizing nor refining treatment.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-219393

(43) 公開日 平成10年(1998) 8月18日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>  
C 22 C 38/00  
38/60

識別記号  
301

F I  
C 22 C 38/00  
38/60

301 N

審査請求 未請求 請求項の数4 OL (全8頁)

(21) 出願番号 特願平9-21151

(22) 出願日 平成9年(1997)2月4日

(71) 出願人 000002118

住友金属工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号

(72) 発明者 宇野 光男

福岡県北九州市小倉北区許斐町1番地住友  
金属工業株式会社小倉製鉄所内

(72) 発明者 坂本 雅紀

福岡県北九州市小倉北区許斐町1番地住友  
金属工業株式会社小倉製鉄所内

(72) 発明者 鎌田 芳彦

福岡県北九州市小倉北区許斐町1番地住友  
金属工業株式会社小倉製鉄所内

(74) 代理人 弁理士 森 道雄 (外1名)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 軟窒化用鋼材、軟窒化部品及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 調質処理等を省略しても、引張強度、疲労強度及び曲げ特性に優れる軟窒化部品とその製造方法、並びに母材となる軟窒化用鋼材を提供する。

【解決手段】 ① C: 0.20~0.38%未満、Si: 0.05~1.0%、Mn: 1.0超~1.5%、P: 0.05%、S: 0.005~0.10%、Cr: 0.3%、Al: 0.08%、Ti: 0.03%、N: 0.008~0.02%、Ca: 0.005%、Pb: 0.30%、Cu: 0.3%、Ni: 0.3%、Mo: 0.3%、V: 0.2%、Nb: 0.05%、fn1: 180、残部はFeと不純物で、組織がフェライト・パーライトでフェライト分率が10%以上の軟窒化用鋼材。②更にfn2: 15であれば一層良い。③上記鋼材を母材とし、窒化層をその表層部に形成させた軟窒化部品。④焼準と調質処理のいずれをも施すことなく軟窒化処理して良い。但し、fn1=221C(%) + 99.5Mn(%) + 52.5Cr(%) - 304Ti(%) + 577N(%) + 25. fn2=-192C(%) - 32.8Mn(%) - 25.1Cr(%) + 467Ti(%) + 726N(%) + 122。

BEST AVAILABLE COPY

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】重量%で、C:0.20%以上で0.38%未満、Si:0.05~1.0%、Mn:1.0%を超える1.5%以下、P:0.05%以下、S:0.005~0.10%、Cr:0.3%以下、Al:0.08%以下、Ti:0.03%以下、N:0.008~0.02%、Ca:0.005%以下、Pb:0.30%以下、

$$f_{n1} = 221C(\%) + 99.5Mn(\%) + 52.5Cr(\%) - 304$$

$$Ti(\%) + 577N(\%) + 25 \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

【請求項2】重量%で、C:0.20%以上で0.38%未満、Si:0.05~1.0%、Mn:1.0%を超える1.5%以下、P:0.05%以下、S:0.005~0.10%、Cr:0.3%以下、Al:0.08%以下、Ti:0.03%以下、N:0.008~0.02%、Ca:0.005%以下、Pb:0.30%以下、Cu:0.3%以下、Ni:0.3%以下、Mo:

$$f_{n1} = 221C(\%) + 99.5Mn(\%) + 52.5Cr(\%) - 304$$

$$Ti(\%) + 577N(\%) + 25 \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

$$f_{n2} = -192C(\%) - 32.8Mn(\%) - 25.1Cr(\%) + 46$$

$$7Ti(\%) + 726N(\%) + 122 \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

【請求項3】請求項1又は請求項2に記載の化学組成及び組織からなる軟窒化用鋼材を母材とし、表層部に窒化層を備えることを特徴とする軟窒化部品。

【請求項4】請求項1又は請求項2に記載の軟窒化用鋼材に、調質処理と焼準のいずれをも施すことなく軟窒化処理を行って、表層部に窒化層を形成させることを特徴とする軟窒化部品の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、軟窒化用鋼材、並びに軟窒化部品及びその製造方法に関する。詳しくは、調質処理と焼準のいずれをも施さずに軟窒化処理を行っても、高い引張強度と疲労強度、及び優れた曲げ特性を有する軟窒化部品、なかでも自動車、産業機械及び建設機械などの軟窒化クランクシャフト及びその製造方法、並びにその母材となる軟窒化用鋼材に関する。

## 【0002】

【従来の技術】自動車、産業機械及び建設機械などのクランクシャフトの製造方法としては、機械構造用炭素鋼などの鋼片を所望の形状に熱間鍛造などの方法で熱間加工した後、(a)調質処理(焼入れ・焼戻し処理)や焼準を施して所望の強度を得る方法、(b)上記の調質処理や焼準後に更に軟窒化処理して所望の強度を得る方法、とがある。この(b)の軟窒化処理は(a)のクランクシャフトに更に高い疲労強度を付与するために施される処理である。なお、いずれの場合にも、調質処理や焼準後に機械加工による仕上げ成形が行われることもある。(b)の場合には、軟窒化処理後に研磨や研削による仕上げ整形が行われることもある。

## 【0003】軟窒化クランクシャフトを始めとする軟窒

下、Cu:0.3%以下、Ni:0.3%以下、Mo:0.3%以下、V:0.2%以下、Nb:0.05%以下、且つ下記①式で表される $f_{n1}$ が180以上で、残部はFe及び不可避不純物の化学組成であって、組織が、フェライト及びパーライトからなりそのフェライト分率が10%以上であることを特徴とする軟窒化用鋼材。

$$f_{n1} = 221C(\%) + 99.5Mn(\%) + 52.5Cr(\%) - 304$$

0.3%以下、V:0.2%以下、Nb:0.05%以下、且つ下記①式と②式で表される $f_{n1}$ と $f_{n2}$ が $f_{n1} \geq 180$ 及び $f_{n2} \geq 15$ を満たし、残部はFe及び不可避不純物の化学組成であって、組織が、フェライト及びパーライトからなりそのフェライト分率が10%以上であることを特徴とする軟窒化用鋼材。

$$f_{n1} = 221C(\%) + 99.5Mn(\%) + 52.5Cr(\%) - 304$$

$$Ti(\%) + 577N(\%) + 25 \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

$$f_{n2} = -192C(\%) - 32.8Mn(\%) - 25.1Cr(\%) + 46$$

化部品に対して、近年、コスト削減のために調質処理や焼準を省略する、所謂「非調質化」や「非焼準化」が検討されている。

【0004】しかし、通常のJIS機械構造用炭素鋼などを母材とした場合には、調質処理や焼準を省略すると、熱間鍛造などの熱間加工時の粗大結晶組織や混粒組織がそのまま最終製品である軟窒化部品に引き継がれてしまう。このため、軟窒化部品には疲労強度の低下や曲げ特性の低下という問題が生ずるので、「非調質化」や「非焼準化」が実施されるまでには至っていない。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、調質処理と焼準のいずれをも行わなくとも高い引張強度と疲労強度(疲労限)を有するとともに曲げ特性に優れた軟窒化部品、具体的には550MPa以上の引張強度と小野式回転曲げ疲労試験による400MPa以上の疲労強度、及び後述する特定試験片を用いた曲げ試験でのクラック発生限界ストロークが6mm以上の曲げ特性を有する軟窒化部品、なかでも自動車、産業機械及び建設機械などの軟窒化クランクシャフト及びその製造方法、並びにその母材となる軟窒化用鋼材を提供することにある。

## 【0006】

【課題を解決するための手段】本発明の要旨は、下記(1)と(2)に示す軟窒化用鋼材、及び(3)に示す軟窒化部品、並びに(4)に示す軟窒化部品の製造方法にある。

【0007】(1)重量%で、C:0.20%以上で0.38%未満、Si:0.05~1.0%、Mn:1.0%を超える1.5%以下、P:0.05%以下、S:0.005~0.10%、Cr:0.3%以下、A

1: 0. 08%以下、Ti: 0. 03%以下、N: 0. 008~0. 02%、Ca: 0. 005%以下、Pb: 0. 30%以下、Cu: 0. 3%以下、Ni: 0. 3%以下、Mo: 0. 3%以下、V: 0. 2%以下、Nb: 0. 05%以下、且つ下記①式で表されるfn1が18

$$fn1 = 221C(\%) + 99.5Mn(\%) + 52.5Cr(\%) - 304 \\ Ti(\%) + 577N(\%) + 25 \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

(2) 重量%で、C: 0. 20%以上で0. 38%未満、Si: 0. 05~1. 0%、Mn: 1. 0%を超える1. 5%以下、P: 0. 05%以下、S: 0. 005~0. 10%、Cr: 0. 3%以下、Al: 0. 08%以下、Ti: 0. 03%以下、N: 0. 008~0. 02%、Ca: 0. 005%以下、Pb: 0. 30%以下、Cu: 0. 3%以下、Ni: 0. 3%以下、Mo: 0.

$$fn2 = -192C(\%) - 32.8Mn(\%) - 25.1Cr(\%) + 46 \\ 7Ti(\%) + 726N(\%) + 122 \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

(3) 上記(1)又は(2)に記載の化学組成及び組織からなる軟窒化用鋼材を母材とし、表層部に窒化層を備えることを特徴とする軟窒化部品。

【0010】(4) 上記(1)又は(2)に記載の軟窒化用鋼材に、調質処理と焼準のいずれをも施すことなく軟窒化処理を行って、表層部に窒化層を形成させることを特徴とする軟窒化部品の製造方法。

【0011】以下において、上記(1)~(4)に記載のものをそれぞれ(1)~(4)の発明という。

#### 【0012】

【発明の実施の形態】本発明者らは、前記した課題を解決するため種々検討を行った。その結果、下記の知見を得た。

【0013】(a) C含有量が0. 38%未満で、Mnの含有量が1. 0%を超える特定の鋼の場合には曲げ特性が低下することなく疲労強度が高まり、鋼に調質処理や焼準を行わなくても軟窒化処理するだけで良好な曲げ特性と大きな疲労強度を付与することができる。

【0014】(b) 軟窒化後の曲げ特性は、軟窒化部品の母材組織と密接な関係を有する。すなわち、フェライトとパーライトからなる組織(以下、「フェライト・パーライト組織」という)にベイナイトやマルテンサイトが混在すると、曲げ特性は著しく低下する。したがって、母材組織はフェライト・パーライト組織にする必要がある。なお、母材とは軟窒化によって硬化していない部分のことをいい、母材組織とは軟窒化前の組織のことである。

【0015】(c) 特定の化学組成を有する鋼のフェライト・パーライト組織において、フェライト分率(光学顕微鏡観察した場合の面積率)が10%以上の場合、後の実施例で述べる特定試験片を用いた曲げ試験で、所望の6mm以上のクラック発生限界ストロークが得られ、軟窒化後の歪による曲がりの矯正が容易に行える。

#### 【0016】(d) 特定の化学組成を有する鋼のフェラ

0以上で、残部はFe及び不可避不純物の化学組成であって、組織が、フェライト及びパーライトからなりそのフェライト分率が10%以上であることを特徴とする軟窒化用鋼材。

#### 【0008】

$$fn1 = 221C(\%) + 99.5Mn(\%) + 52.5Cr(\%) - 304 \\ Ti(\%) + 577N(\%) + 25 \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

3%以下、V: 0. 2%以下、Nb: 0. 05%以下、且つ前記①式と下記②式で表されるfn1とfn2がfn1 ≥ 180及びfn2 ≥ 15を満たし、残部はFe及び不可避不純物の化学組成であって、組織が、フェライト及びパーライトからなりそのフェライト分率が10%以上であることを特徴とする軟窒化用鋼材。

#### 【0009】

$$fn2 = -192C(\%) - 32.8Mn(\%) - 25.1Cr(\%) + 46 \\ 7Ti(\%) + 726N(\%) + 122 \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

イト・パーライト組織においては、疲労強度は前記した①式のfn1で整理できる。

【0017】(e) 小野式回転曲げ疲労試験で、所望の400MPa以上の疲労強度を得るためにfn1 ≥ 180とする必要がある。

【0018】(f) 特定の化学組成を有する鋼のフェライト・パーライト組織におけるフェライト分率が10%以上の場合、前記②式のfn2は曲げ特性(後の実施例で述べる特定試験片を用いた曲げ試験におけるクラック発生特性)と相関を有する。

【0019】(g) fn2 ≥ 15の場合には曲げ特性は極めて良好である。

【0020】本発明は、上記の知見に基づいて完成されたものである。

【0021】以下、本発明の各要件について詳しく説明する。なお、成分含有量の「%」は「重量%」を意味する。

#### 【0022】(A) 化学組成

C: 0. 20%以上で0. 38%未満

Cは、鋼部品(製品)に所望の550MPa以上の引張強度を付与するのに有効な元素であり、そのためには0. 20%以上の含有量が必要である。しかし、0. 38%以上含有させると、韌性と疲労強度、なかでも後述のMn含有量との関係から疲労強度が低下してしまう。更に、曲げ特性が低下して軟窒化処理後の歪による曲りを矯正する際に割れを生ずる場合がある。したがって、Cの含有量を0. 20%以上で0. 38%未満とした。なお、C含有量の好ましい範囲は、0. 30~0. 35%である。

#### 【0023】Si: 0. 05~1. 0%

Siは、鋼の脱酸に有効な元素である。更に、疲労強度を高める作用も有する。しかし、その含有量が0. 05%未満では添加効果に乏しい。一方、1. 0%を超えて含有させると曲げ特性の劣化をもたらす。したがって、

S i 含有量を0. 05~1. 0%とした。なお、S i 含有量は0. 05~0. 3%とすることが望ましい。

【0024】Mn : 1. 0%を超える1. 5%以下  
Mnは、鋼の脱酸に有効な元素であり、焼入れ性を高めることにも有効な元素である。更に、軟窒化特性を向上させて疲労強度を高める働きもある。前記の作用のうちで軟窒化特性を向上させて疲労強度を高める働きは、C 含有量との関係でMnの含有量が1. 0%を超えた場合に發揮される。一方、1. 5%を超えて含有すると、曲げ特性の劣化を招いて軟窒化処理後の歪による曲りを矯正する際に割れを生ずる場合がある。したがって、Mnの含有量を1. 0%を超える1. 5%以下とした。なお、Mnの好ましい含有量は1. 05~1. 4%である。

【0025】P : 0. 05%以下

Pは、疲労強度及び曲げ特性（矯正特性）を低下させてしまう。特に、その含有量が0. 05%を超えると、疲労強度及び曲げ特性の低下が著しくなる。したがって、Pの含有量を0. 05%以下とした。なお、P含有量は0. 02%以下とすることが好ましい。

【0026】S : 0. 005~0. 10%

Sは、切削性を向上させる作用を有する。しかし、その含有量が0. 005%未満では添加効果に乏しい。一方、0. 10%を超えて含有すると、疲労強度と曲げ特性の著しい低下をきたす。したがって、S含有量を0. 005~0. 10%とした。なお、切削性を大きく高める点からは、S含有量を0. 02~0. 10%とすることが望ましい。

【0027】Cr : 0. 3%以下

Crは添加しなくても良い。添加すれば、軟窒化特性を向上させて疲労強度を高める作用を有する。この効果を確実に得るには、Crは0. 03%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、Crを0. 3%を超えて含有させると、曲げ特性の著しい低下を招く。したがって、Crの含有量を0. 3%以下とした。なお、極めて優れた曲げ特性とするには、Cr含有量は0. 1%以下とすることが好ましい。

【0028】Al : 0. 08%以下

Alは、曲げ特性を低下させてしまう。特に、その含有量が0. 08%を超えると曲げ特性の低下が著しくなる。したがって、Al含有量を0. 08%以下とした。なお、Al含有量の上限は0. 05%とすることが好ましい。

【0029】Ti : 0. 03%以下

Tiは添加しなくても良い。添加すれば、結晶粒を微細化するとともに、軟窒化特性を向上させる作用がある。これらの効果を確実に得るには、Tiは0. 003%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、0. 03%を超えて含有させると曲げ特性の低下をきたして、軟窒化処理後の歪による曲りを矯正する際に割れを生ずる場合がある。したがって、Tiの含有量を0. 03%以下

とした。

【0030】N : 0. 008~0. 02%

Nは、窒化物を生成し結晶粒を微細化するのに有効な元素である。しかし、その含有量が0. 008%未満では上記の作用が充分には期待できない。一方、0. 02%を超えて含有させてもその効果は飽和し、経済性を損なうばかりである。したがって、N含有量を0. 008~0. 02%とした。

【0031】Ca : 0. 005%以下

Caは添加しなくても良い。添加すれば、切削性を高める作用を有する。この効果を確実に得るには、Caは0. 0005%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、その含有量が0. 005%を超えると、疲労強度及び曲げ特性の著しい低下を招く。したがって、Ca含有量を0. 005%以下とした。

【0032】Pb : 0. 30%以下

Pbは添加しなくても良い。添加すれば、切削性を高める作用を有する。この効果を確実に得るには、Pbは0. 05%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、その含有量が0. 30%を超えると、疲労特性および曲げ特性の低下をきたす。したがって、Pb含有量を0. 30%以下とした。

【0033】Cu : 0. 3%以下

Cuは添加しなくても良い。添加すれば、静的強度（引張強度）を高める作用を有する。この効果を確実に得るには、Cuは0. 01%以上の含有量とすることが好ましい。より好ましいCuの含有量は0. 05%以上である。しかし、その含有量が0. 3%を超えると、熱間加工性の低下をもたらす。したがって、Cuの含有量を0. 3%以下とした。

【0034】Ni : 0. 3%以下

Niは添加しなくても良い。添加すれば、韌性を向上させる作用がある。この効果を確実に得るには、Niは0. 01%以上の含有量とすることが好ましい。より好ましいNiの含有量は、0. 05%以上である。しかし、Niを0. 3%を超えて含有させても、上記の効果が飽和して経済性を損なうようになる。更に、被削性の低下をもきたす。したがって、Niの含有量を0. 3%以下とした。

【0035】Mo : 0. 3%以下

Moは添加しなくても良い。添加すれば、焼入れ性を高めるとともに韌性を向上させる作用がある。これらの効果を確実に得るには、Moは0. 01%以上の含有量とすることが好ましい。より好ましいMoの含有量は、0. 03%以上である。しかし、0. 3%を超えて含有させてもその効果は飽和し、経済性を損なうばかりである。したがって、Moの含有量を0. 3%以下とした。

【0036】V : 0. 2%以下

Vは添加しなくても良い。添加すれば、V炭窒化物を生成して軟窒化特性を向上させて疲労強度を高める作用を

有する。この効果を確実に得るには、Vは0.01%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、その含有量が0.2%を超えると、曲げ特性の劣化を招いて軟窒化処理後の歪による曲りを矯正する際に割れを生ずる場合がある。したがって、V含有量を0.2%以下とした。なお、極めて優れた曲げ特性を確保するため、V含有量は0.1%以下とすることが好ましい。

【0037】Nb: 0.05%以下

Nbは添加しなくても良い。添加すれば、NbNを生成して軟窒化特性を向上させる作用を有する。この効果を確実に得るには、Nbは0.003%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、0.05%を超えて含有させると曲げ特性の低下をきたして、軟窒化処理後の歪による曲りを矯正する際に割れを生ずる場合がある。したがって、Nbの含有量を0.05%以下とした。なお、極めて優れた曲げ特性を確保するため、Nb含有量は0.02%以下とすることが好ましい。

【0038】fn1: 鋼の化学組成が、上記したCからNbまでの含有量の範囲にあるフェライト・パーライト組織においては、疲労強度は前記した①式で表されるでfn1で整理できる。そして、fn1の値が180以上である場合に、所望の400MPa以上の大さな疲労強度が得られる。したがって、fn1≥180とした。なお、fn1の値が260を超えると切削性の劣化をきたす場合があるので、fn1の値は260以下とすることが望ましい。

【0039】fn2: 鋼の化学組成が、上記したCからNbまでの含有量の範囲にあるフェライト・パーライト組織においては、曲げ特性は前記した②式で表されるfn2で整理できる。そして、fn2の値が15以上である場合に、極めて良好な曲げ特性(6mmを遥かに超えるクラック発生限界ストローク)を得ることができる。したがって、極めて良好な曲げ特性が要求される場合にfn2≥15とした。なお、fn2の値が65を超えると静的強度(引張強度)の低下をきたす場合があるので、fn2の値は65以下とすることが望ましい。なお、既に述べたように、フェライト・パーライト組織におけるフェライト分率が10%以上の場合にのみ、fn2は曲げ特性と相関を有する。

【0040】(B)組織

軟窒化後の曲げ特性は、軟窒化部品の母材組織と密接な関係を有する。フェライト・パーライト組織にペイナイトやマルテンサイトが混在すると、曲げ特性は著しく低下してしまう。したがって、母材組織はフェライト・パーライト組織にする必要がある。なお、既に述べたように、母材とは軟窒化によって硬化していない部分のことをいい、母材組織とは軟窒化前の組織のことをいう。

【0041】母材の組織がたとえフェライト・パーライト組織であっても、フェライト分率(光学顕微鏡観察した場合の面積率)が10%未満の場合には、所望の6m

m以上のクラック発生限界ストロークが得られない。したがって、フェライト・パーライト組織におけるフェライト分率を10%以上とした。なお、フェライト・パーライト組織におけるフェライト分率が70%を超えると、疲労強度が低下する場合があるので、フェライト分率は70%以下とすることが好ましい。

【0042】なお、前記の(A)に示した化学組成を有する鋼に関しては、これを加熱し、熱間加工を行って所望の軟窒化部品形状に成形した後、空冷以下の冷却速度で冷却すれば、容易にフェライト分率が10%以上であるフェライト・パーライト組織にすることができる。ここで「空冷」とは、JISの「空冷」、「炉冷」、「水冷」などの区分に従ったものをいう。上記の加熱は通常の方法で、1200~1300°Cの温度範囲に加熱すれば良い。熱間加工に関しては、特に制限はなく、例えば熱間鍛造など通常行われている加工法を用いれば良い。なお、熱間加工後に必要に応じて切削などの機械加工を行っても良い。

【0043】以上に述べた製造方法によって、(1)及び(2)の発明に係る「軟窒化用鋼材」が得られる。この鋼材は、次に述べる軟窒化処理を施されて、(3)の発明に係る「軟窒化部品」となる。

【0044】(C)軟窒化処理

上記(A)の化学組成と(B)の組織を有する所望形状に整えられた部品(軟窒化用鋼材)に対して、軟窒化処理を施し、硬く深い窒化層を表層部に形成させる。これにより、高い引張強度と疲労強度(疲労限)を有するとともに曲げ特性に優れた軟窒化部品が得られる。なお、この軟窒化処理の方法は何ら制限されるものではなく、通常の方法で行えば良い。

【0045】上記の所望形状に整えられた部品(軟窒化用鋼材)に対しては、調質処理と焼準のいずれをも施すことなく軟窒化処理を行うだけで((4)の発明)、高い引張強度と疲労強度、及び優れた曲げ特性を付与することができる。

【0046】なお、軟窒化処理後の表面硬度(表面から0.025mmの位置でのHV硬度をいう)及び有効硬化深さ(表面から母材硬度の位置までの距離をいう)は特に制限しなくて良い。しかし、曲げ特性の点から表面硬度はHVで600~900、疲労強度確保の点から有効硬化深さは0.1mm以上とすることが好ましい。なお、より好ましい有効硬化深さは0.3mm以上である。

【0047】(3)の発明に係る軟窒化部品は、軟窒化処理後、更に必要に応じて研削や研磨を施される場合もある。

【0048】

【実施例】表1、2に示す化学組成を有する鋼を、通常の方法によって50kg試験炉溶製した。表1における鋼1~16は成分が本発明で規定する範囲にある鋼であ

る。一方、表2における鋼17~33は成分のいずれかが本発明で規定する範囲から外れた鋼で、このうち鋼33はJISのS50Cに相当する鋼である。

【0049】  
【表1】

表 1

| 区分  | 鋼  | 化 学 組 成 (重量%) |      |      |       |       |      |       |       |        |        | 残部: Feおよび不純物 |      |      |      |      |       |       |       |
|-----|----|---------------|------|------|-------|-------|------|-------|-------|--------|--------|--------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
|     |    | C             | Si   | Mn   | P     | S     | Cr   | Al    | Ti    | N      | Ca     | Pb           | Cu   | Ni   | Mo   | V    | Nb    | fn1   | fn2   |
| 本発明 | 1  | 0.24          | 0.18 | 1.10 | 0.008 | 0.049 | 0.05 | 0.003 | 0.011 | 0.0153 | 0.0013 | 0.09         | 0.01 | 0.01 | 0.01 | -    | -     | 195.6 | 54.8  |
|     | 2  | 0.30          | 0.76 | 1.08 | 0.014 | 0.055 | 0.25 | 0.007 | 0.007 | 0.0175 | 0.0010 | 0.16         | -    | -    | 0.03 | -    | 0.046 | 219.9 | 38.7  |
|     | 3  | 0.20          | 0.62 | 1.36 | 0.029 | 0.047 | 0.08 | 0.001 | 0.012 | 0.0159 | 0.0046 | -            | 0.02 | 0.05 | -    | 0.04 | 0.011 | 214.2 | 54.1  |
|     | 4  | 0.36          | 0.06 | 1.08 | 0.036 | 0.041 | -    | -     | -     | 0.0143 | 0.0009 | 0.08         | -    | -    | 0.05 | -    | 0.008 | 220.3 | 27.8  |
|     | 5  | 0.26          | 0.17 | 1.11 | 0.015 | 0.029 | 0.16 | 0.051 | 0.009 | 0.0083 | -      | 0.18         | 0.28 | 0.08 | -    | 0.16 | 0.025 | 203.4 | 41.9  |
|     | 6  | 0.31          | 0.21 | 1.49 | 0.018 | 0.007 | 0.11 | 0.004 | 0.028 | 0.0179 | 0.0012 | -            | -    | -    | 0.01 | 0.02 | -     | 249.4 | 36.9  |
| 例   | 7  | 0.30          | 0.25 | 1.42 | 0.019 | 0.016 | 0.03 | -     | 0.013 | 0.0085 | 0.0018 | 0.09         | 0.02 | 0.11 | -    | -    | -     | 235.1 | 29.3  |
|     | 8  | 0.37          | 0.21 | 1.09 | 0.022 | 0.056 | 0.28 | 0.005 | -     | 0.0166 | 0.0015 | -            | 0.15 | -    | -    | 0.03 | -     | 239.5 | 20.2  |
|     | 9  | 0.33          | 0.29 | 1.14 | 0.018 | 0.019 | 0.18 | -     | 0.005 | 0.0172 | 0.0008 | 0.20         | -    | 0.29 | -    | -    | 0.006 | 229.2 | 31.6  |
|     | 10 | 0.25          | 0.50 | 1.02 | 0.042 | 0.052 | 0.05 | 0.075 | 0.006 | 0.0124 | -      | 0.27         | 0.05 | 0.02 | 0.08 | 0.01 | 0.007 | 189.7 | 51.1  |
|     | 11 | 0.21          | 0.17 | 1.23 | 0.017 | 0.028 | -    | 0.021 | 0.011 | 0.0155 | -      | 0.10         | -    | -    | 0.10 | -    | -     | 199.4 | 57.8  |
|     | 12 | 0.34          | 0.38 | 1.03 | 0.012 | 0.049 | 0.22 | 0.002 | -     | 0.0197 | 0.0022 | -            | 0.08 | 0.02 | -    | 0.08 | -     | 225.5 | 31.7  |
| 例   | 13 | 0.35          | 0.99 | 1.05 | 0.003 | 0.036 | 0.21 | 0.008 | 0.014 | 0.0168 | 0.0017 | 0.15         | 0.03 | -    | 0.27 | -    | 0.007 | 223.3 | 33.8  |
|     | 14 | 0.22          | 0.16 | 1.11 | 0.036 | 0.095 | -    | -     | 0.010 | 0.0149 | -      | 0.06         | -    | 0.08 | 0.07 | -    | 0.005 | 189.6 | 58.9  |
|     | 15 | 0.28          | 0.41 | 1.18 | 0.013 | 0.041 | 0.04 | 0.009 | 0.009 | 0.0186 | 0.0018 | 0.13         | 0.01 | 0.06 | 0.15 | 0.01 | -     | 214.4 | 46.2  |
|     | 16 | 0.35          | 0.39 | 1.48 | 0.009 | 0.047 | 0.09 | -     | -     | 0.0093 | -      | 0.05         | 0.03 | 0.02 | 0.01 | -    | -     | 259.7 | *10.7 |

$$fn1 = 221C + 99.5Mn + 52.5Cr - 304Ti + 577N + 25$$

$$fn2 = -192C - 32.8Mn - 25.1Cr + 467Ti + 726N + 122$$

上記の式中の元素記号はその元素の含有量を表す。

\*印は本発明で規定する条件から外れていることを示す。鋼16はCからfn1が本発明の規定条件にある本発明の対象鋼である。

## 【0050】

【表2】

表 2

| 区分 | 鋼  | 化 学 組 成 (重量%) |       |       |        |        |       |        |        |         |         | 残部: Feおよび不純物 |      |      |      |       |        |        |      |
|----|----|---------------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|---------|---------|--------------|------|------|------|-------|--------|--------|------|
|    |    | C             | Si    | Mn    | P      | S      | Cr    | Al     | Ti     | N       | Ca      | Pb           | Cu   | Ni   | Mo   | V     | Nb     | fn1    | fn2  |
| 比  | 17 | *0.18         | 0.26  | 1.09  | 0.017  | 0.027  | 0.05  | -      | 0.015  | 0.0173  | 0.0018  | -            | -    | 0.02 | -    | 0.07  | -      | 181.3  | 70.0 |
|    | 18 | *0.40         | 0.49  | 1.36  | 0.022  | 0.062  | 0.11  | 0.067  | 0.025  | 0.0136  | -       | 0.07         | -    | -    | 0.03 | -     | -      | 254.7  | 19.4 |
|    | 19 | 0.26          | 0.29  | *1.55 | 0.025  | 0.097  | 0.22  | 0.003  | -      | 0.0089  | -       | -            | 0.03 | 0.05 | -    | 0.03  | 0.003  | 253.4  | 22.2 |
|    | 20 | 0.21          | 0.56  | 1.36  | *0.057 | 0.036  | 0.06  | 0.008  | -      | 0.0179  | 0.0021  | 0.11         | -    | 0.01 | -    | -     | 0.011  | 220.2  | 48.6 |
|    | 21 | 0.20          | 0.07  | 1.27  | 0.018  | *0.103 | 0.24  | -      | 0.011  | 0.0146  | 0.0014  | 0.19         | -    | -    | 0.21 | 0.01  | -      | 213.2  | 51.7 |
|    | 22 | 0.29          | 0.18  | 1.02  | 0.026  | 0.048  | *0.34 | 0.004  | 0.006  | 0.0122  | 0.0013  | 0.26         | 0.05 | 0.08 | 0.05 | 0.15  | 0.006  | 197.6  | 36.0 |
| 例  | 23 | 0.28          | 0.92  | 1.21  | 0.048  | 0.091  | 0.16  | *0.086 | 0.023  | 0.0097  | 0.0015  | -            | -    | 0.22 | -    | -     | -      | 214.3  | 42.3 |
|    | 24 | 0.20          | 0.86  | 1.11  | 0.028  | 0.016  | 0.27  | 0.016  | *0.037 | 0.0180  | -       | -            | 0.25 | -    | -    | 0.02  | 0.041  | 193.0  | 70.8 |
|    | 25 | 0.31          | 0.11  | 1.06  | 0.036  | 0.083  | 0.18  | -      | 0.006  | *0.0054 | 0.0008  | 0.15         | -    | -    | 0.16 | 0.08  | 0.003  | 209.7  | *-   |
|    | 26 | 0.33          | 0.28  | 1.24  | 0.019  | 0.044  | 0.07  | -      | -      | 0.0113  | *0.0056 | 0.09         | -    | 0.11 | 0.08 | -     | -      | 231.5  | 24.4 |
|    | 27 | 0.25          | 0.36  | 1.05  | 0.029  | 0.019  | 0.23  | 0.027  | 0.008  | 0.0156  | -       | *0.34        | 0.01 | 0.07 | -    | 0.11  | 0.002  | 203.4  | 48.8 |
|    | 28 | 0.26          | 0.18  | 1.06  | 0.012  | 0.051  | 0.25  | -      | -      | 0.0129  | 0.0024  | -            | 0.08 | -    | 0.06 | *0.23 | -      | 210.5  | 39.7 |
| 例  | 29 | 0.36          | 0.42  | 1.17  | 0.021  | 0.063  | 0.21  | 0.005  | 0.016  | 0.0157  | 0.0019  | -            | -    | 0.09 | 0.09 | 0.10  | *0.054 | 236.2  | 28.1 |
|    | 30 | 0.28          | *1.05 | 1.08  | 0.006  | 0.021  | 0.09  | 0.001  | 0.012  | 0.0129  | 0.0011  | 0.08         | 0.08 | 0.12 | 0.13 | 0.02  | 0.011  | 202.9  | 45.5 |
|    | 31 | *0.48         | 0.29  | *0.80 | 0.025  | 0.046  | 0.06  | 0.002  | -      | 0.0086  | 0.0012  | 0.11         | 0.02 | 0.02 | 0.01 | -     | -      | 218.8  | *-   |
|    | 32 | 0.27          | 0.36  | 1.03  | 0.036  | 0.051  | -     | 0.009  | 0.022  | 0.0089  | -       | 0.09         | 0.01 | -    | 0.03 | -     | -      | *177.2 | 53.1 |
|    | 33 | *0.49         | 0.25  | *0.76 | 0.011  | 0.025  | 0.02  | 0.013  | -      | *0.0055 | -       | -            | 0.04 | -    | -    | -     | -      | 213.1  | -    |

$$fn1 = 221C + 99.5Mn + 52.5Cr - 304Ti + 577N + 25$$

$$fn2 = -192C - 32.8Mn - 25.1Cr + 467Ti + 726N + 122$$

上記の式中の元素記号はその元素の含有量を表す。

\*印は本発明で規定する条件から外れていることを示す。鋼25と鋼31はフェライト分率が10%未満でfn2が成立しない。

鋼33は従来の焼準材で組織を観察していないのでfn2を求めていない。

【0051】次いで、これらの鋼を通常の方法によって鋼片となした後、1250°Cに加熱してから、1250~1000°Cで熱間鍛造して、直径30mmの丸棒とした。なお、1000°Cで熱間鍛造を終えた後の冷却は空冷とした。

【0052】鋼1~32については、上記のようにして得

られた直径30mmの丸棒から、図1に示す形状の試験片、JIS4号の引張り試験片及び直径25mmで厚みが20mmのミクロ観察用試験片を切り出した。一方、鋼33については、上記のようにして得られた直径30mmの丸棒に900°Cで30分加熱し空冷する焼準を施した後、図1に示す形状の試験片及びJIS4号の引張り試

試験片を切り出した。

【0053】次いで、鋼1~33の図1に示す形状の試験片とJIS4号の引張り試験片とを、窒素ガスにアンモニアガスを1:1の割合で添加した温度が570°Cのガス中で3時間保持して軟化処理を施し、その後油中へ冷却した。

【0054】軟化処理したJIS4号引張り試験片を用いて常温(室温)における引張強度を測定した。

【0055】又、軟化処理した図1の形状の試験片を用いて、小野式回転曲げ疲労試験と曲げ試験を行い、疲労特性と曲げ特性を調査した。

【0056】すなわち、常温、大気中、回転数3000 rpmの条件で小野式回転曲げ疲労試験を行い、曲げ疲労強度(疲労限)を求めた。

【0057】更に、上記の軟化処理した図1の形状の試験片にクラックゲージを貼り付けて、スパン50mm、クロスヘッドスピード20mm/分の条件で3点曲げ試験を行い、クラックが発生する限界のストローク(クラック発生限界ストローク)を求めた。

【0058】更に、鋼1~32の直径25mmで厚みが20mmのミクロ観察用試験片を用いて、母材組織に相当

する熱間加工後の組織を光学顕微鏡観察(倍率は200倍)し、フェライト分率を求めた。なお、鋼1~32のいずれもフェライト・パーライト組織であった。

【0059】表3に、各種の試験結果をまとめて示す。

【0060】表3の結果から、本発明で規定する化学組成を有し、且つ、本発明で規定する組織を有する本発明例の鋼1~16にあっては、所望の550MPa以上の引張強度、400MPa以上の疲労強度、6mm以上のクラック発生限界ストロークが得られている。これはJISのS50C相当鋼である鋼33を用いて焼準後に軟化処理した場合の性能と比べて同等以上である。なお、本発明例において、fn2≥15を満たす鋼1~15においては6mmを遥かに超える大きなクラック発生限界ストロークが得られている。

【0061】一方、化学組成及び/又は組織が本発明で規定する条件から外れた比較例の鋼17~32にあっては、引張強度、疲労強度、クラック発生限界ストロークの少なくとも1つが目標値に達していない。

【0062】

【表3】

| 区<br>分           | 鋼  | フェライ<br>ト分率<br>(%) | 引張強度<br>(MPa) | 疲労強度<br>(MPa) | クラック発生<br>限界ストロー<br>ク (mm) |
|------------------|----|--------------------|---------------|---------------|----------------------------|
| 本<br>発<br>明<br>例 | 1  | 55.2               | 617           | 413           | 10.4                       |
|                  | 2  | 38.0               | 693           | 478           | 9.2                        |
|                  | 3  | 53.3               | 681           | 463           | 10.4                       |
|                  | 4  | 27.2               | 706           | 73.5          | 8.2                        |
|                  | 5  | 41.6               | 648           | 441           | 9.5                        |
|                  | 6  | 36.0               | 783           | 532           | 9.1                        |
|                  | 7  | 29.7               | 760           | 509           | 8.4                        |
|                  | 8  | 20.6               | 761           | 512           | 7.5                        |
|                  | 9  | 30.8               | 728           | 480           | 8.6                        |
|                  | 10 | 50.6               | 608           | 403           | 10.1                       |
|                  | 11 | 56.6               | 635           | 432           | 10.5                       |
|                  | 12 | 32.3               | 713           | 478           | 8.6                        |
|                  | 13 | 34.6               | 708           | 460           | 8.8                        |
|                  | 14 | 59.1               | 606           | 406           | 10.7                       |
|                  | 15 | 45.6               | 681           | 463           | 9.8                        |
|                  | 16 | 20.6               | 804           | 523           | 6.5                        |

比較例は、鋼の化学組成が本発明の規定条件から外れ

更に、\*印の点で本発明条件から外れているものである。\*\*印は目標値に達していないことを示す。

【0063】

【発明の効果】本発明の軟化部品は、高い引張強度と疲労強度、及び優れた曲げ特性を有することから、自動車、産業機械及び建設機械などのクランクシャフトとして利用することができる。軟化部品の母材となる軟化用鋼材は、調質処理と焼準のいずれをも施さずに軟化

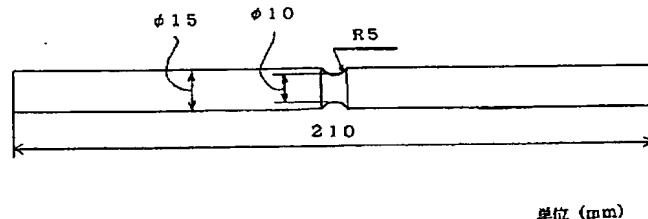
| 区<br>分      | 鋼  | フェライ<br>ト分率<br>(%) | 引張強度<br>(MPa) | 疲労強度<br>(MPa) | クラック発生<br>限界ストロー<br>ク (mm) |
|-------------|----|--------------------|---------------|---------------|----------------------------|
| 比<br>較<br>例 | 17 | 69.3               | **546         | **366         | 11.4                       |
|             | 18 | 20.7               | 803           | 522           | ** 5.7                     |
|             | 19 | 22.8               | 801           | 524           | ** 5.6                     |
|             | 20 | 49.6               | 690           | 409           | ** 5.0                     |
|             | 21 | 50.7               | 677           | 413           | ** 5.1                     |
|             | 22 | 35.1               | 623           | 417           | ** 4.8                     |
|             | 23 | 43.2               | 680           | 442           | ** 5.0                     |
|             | 24 | 68.9               | 618           | 414           | ** 4.7                     |
|             | 25 | * 9.7              | 658           | 434           | ** 3.2                     |
|             | 26 | 25.3               | 747           | 451           | ** 5.7                     |
|             | 27 | 48.1               | 646           | **389         | ** 4.8                     |
|             | 28 | 40.8               | 661           | 443           | ** 5.3                     |
|             | 29 | 27.4               | 760           | 494           | ** 5.7                     |
|             | 30 | 44.7               | 639           | 415           | ** 5.8                     |
|             | 31 | * 7.9              | 692           | **395         | ** 5.3                     |
|             | 32 | 52.9               | **538         | **360         | 10.3                       |
|             | 33 | 観察せず               | 630           | 410           | 7.4                        |

化処理を行っても、最終の軟化部品として所望の特性を確保できるので、大きなコスト低下が可能である。このように、本発明の産業上の効果は極めて大きい。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施例の小野式回転曲げ疲労試験と曲げ試験で用いた試験片の形状を示す図である。

【図1】



フロントページの続き

(72)発明者 垣見 治則

大阪府大阪市此花区島屋5丁目1番109号  
住友金属工業株式会社関西製造所製鋼品事  
業所内

(72)発明者 栗田 真人

大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号住  
友金属工業株式会社内